不同收获期揉丝水稻秸秆在奶牛瘤胃内的降解特性

马钱波　王　琳　李志威　黄倩倩　赵国琦*

（扬州大学动物科学与技术学院，扬州 225000）

摘　要：本试验旨在研究揉丝处理对不同收获期水稻秸秆营养成分及奶牛瘤胃降解特性的影响。试验样品分别在 9 月末与 11 月初采集，经相同试验前处理，共 4 组样品，分别为 9 月末水稻秸秆、9 月末揉丝水稻秸秆、11 月初水稻秸秆和 11 月初揉丝水稻秸秆。测定样品中营养成分的含量，并用尼龙袋法测定上述样品在奶牛瘤胃中干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）以及酸性洗涤纤维（ADF）的降解率，得到各营养成分的动态降解参数。结果表明：9 月末水稻秸秆 CP 含量高于 11 月初水稻秸秆，粗灰分含量低于 11 月初水稻秸秆。9 月末水稻秸秆 CP、NDF 和 ADF 的瘤胃降解率显著高于 11 月初水稻秸秆（$P<0.05$）。揉丝处理对 9 月末水稻秸秆的 DM、CP、ADF 的有效降解率（ED）影响不显著（$P>0.05$），但对 11 月初水稻秸秆的 DM、CP、ADF 的 ED 有显著提高的作用（$P<0.05$）。综合得出，9 月末水稻秸秆相比 11 月初水稻秸秆更适合作为粗饲料饲喂动物；揉丝处理 11 月初水稻秸秆可以提高其营养价值和瘤胃降解率。

关键词：水稻秸秆；揉丝；瘤胃降解；奶牛

中图分类号：　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

水稻在我国栽培历史更悠久，作为中国最重要的粮食作物，种植面积目前位居世界第二，总产量位居世界第一。1961 年至 2013 年我国水稻平均总产量 1.56 亿 t，占世界水稻总产量的 33.7%，占我国粮食总产量的 48.39%[1]。与此同时，我国每年能产生 2.3 亿 t 的水稻秸秆，位居各类作物秸秆首位[2]。但是，目前稻秸作为饲料的利用率还很低，大量地焚烧与废弃造成了环境污染与资源浪费[3]。就我国南方地区而言，畜牧养殖的羊草、野牛草等粗饲料主要来自北方，长途运输提高养殖业成本[4]。江苏雨水充足，气候良好，水稻种植广泛，水稻秸秆资源丰富，占江苏秸秆总量 45.9%[5]。经实地调查，本试验采样地区水稻作为主要农作物，根据收获目的不同，分 2 个时间段进行收获籽实，即 9 月末以收获水稻种子为目的与 11 月初以收获粮食为目的。无论处于何种收获目的，均会产生大量秸秆。但是该资源主要以肥料以及能源的形式利用，饲料的形式仅占 5%，焚烧与弃置占 41%[4]。当地已采用自主研发机

收稿日期：2018-04-19
基金项目：奶牛饲草饲料型 TMR 配制及高效利用技术研究与集成示范（2017YFD0502104-3）
作者简介：马钱波（1994-），男，江苏镇江人，硕士研究生，从事饲草加工与利用以及草食动物营养研究。E-mail: 1601555436@qq.com
*通信作者：赵国琦，教授，博士生导师，E-mail: gqzhao@yzu.edu.cn

械进行水稻秸秆的及时收割与揉丝处理，不影响下一季的正常种植，并以饲料形式在奶牛饲粮中利用，若能将此技术进行推广，进一步合理的饲料化利用，将从一定程度上缓解江苏以及我国南方地区粗饲料短缺问题，并减少焚烧秸秆带来的环境污染问题。

水稻秸秆的利用方式决定了其饲喂价值，研究的关键在于水稻秸秆自身的营养缺陷。水稻秸秆的木质素和硅含量很高，消化率和适口性差，一般反刍动物对秸秆的消化率仅有20%~30%[6]。目前比较常用的水稻秸秆处理方法有青贮[7]、氨化[8]、碱化[9]等，最新研究的有蒸汽爆破处理水稻秸秆[10-11],但采用揉丝处理的方法未见报道。本试验比较了揉丝处理对2个不同收获期水稻秸秆的影响，通过测定营养成分和营养成分瘤胃降解率，来比较揉丝处理的效果，为水稻秸秆的饲料化利用提供新的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

水稻秸秆从江苏省盐城市大丰川东农场现场采集，收获籽实后，对剩余水稻秸秆采用自走式机械收割，同时进行揉丝处理，并采集未处理水稻秸秆作为对照组。采样时间分别为9月末（收获种稻）与11月初（收获粮稻），共4组样品，分别为9月末水稻秸秆、9月末揉丝水稻秸秆、11月初水稻秸秆和11月初揉丝水稻秸秆。水稻秸秆样品采集后65 ℃烘干，通过2.5 mm孔筛粉碎，室温干燥保存待用。

1.2 试验动物及饲养管理

试验动物选择3头体况良好、体重相近[（500±25） kg]、装有永久性瘤胃瘘管的泌乳中后期荷斯坦奶牛。每日饲喂2次，分别在06:00和17:30进行，自由饮水。基础饲粮组成及营养水平见表1。

表1 基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet（DM basis） %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	20.00
大麦 Barley	6.00
豆粕 Soybean meal	6.00
棉籽粕 Cottonseed meal	4.80
甜菜粕 Beet pulp	6.15
苜蓿干草 Alfalfa hay	20.20
燕麦干草 Oat hay	9.62
全棉籽 Whole cottonseed	11.00
青贮大麦秸 Barley straw silage	15.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.56

食盐 NaCl	0.28
预混料 Premix1)	0.39
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
泌乳净能 NE_L/（MJ/kg）	5.89
粗蛋白质 CP	13.42
粗脂肪 EE	3.09
中性洗涤纤维 NDF	40.76
酸性洗涤纤维 ADF	18.65
钙 Ca	0.78
磷 P	0.47

1)每千克预混料含有 One kg of premix contained the following：VA 500 000 IU，VD_3 80 000 IU，VE 2 100 IU，烟酸 nicotinic acid 710 mg，Cu 1 250 mg，Mn 1 800 mg，Zn 4 850 mg，I 50 mg，Se 50 mg，Co 20 mg。

2)泌乳净能为计算值，其余营养水平为实测值。NE_L was a calculated value， while other nutrient levels were measured values.

1.3 尼龙袋试验

本试验在上海市奉贤区光明星火二厂进行，于 2017 年 11 月 15 日开始，2017 年 11 月 21 日结束。根据文献[12]制作 300 目（50 μm）尼龙袋（规格 12 cm×8 cm，使用细涤纶线双线缝合制成，使用前火燎去线头，用水浸泡后 65 ℃烘干，称重并记录），4 个组分别称取 4 g 样品，将称好的样品放入尼龙袋内，按“同时投入，依次取出”的原则，饲喂前将装有待测样品的尼龙袋送入瘤胃，尼龙袋固定在绑有尼龙线的半软塑胶管上，再将尼龙线固定在瘘管盖上。于放置 0、2、6、12、24、36、48、72 h 后取出，洗净，烘干并称重，用自封袋分装保存。每个组每个时间点设定 2 个平行，3 个重复，测定并计算不同时间点样品的干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）的实时降解率。

待测样品营养成分在某时间点降解率按以下公式计算：

某时间点降解率（%）=100×（降解前袋内该营养成分含量－该时间点降解后袋内该营养成分含量）/降解前袋内该营养成分含量。

试验所用瘤胃动力学数学指数模型参照Ørskov 等[13]进行测定与计算。某饲料营养成分实时瘤胃降解率符合指数曲线：

$$P=a+b(1-e^{-ct})。$$

式中：t 为饲料在瘤胃内停留的时间（h）；P 为尼龙袋在瘤胃内滞留时间 t 后的饲料某一营养成分降解率（%）；a 为快速降解部分（%）；b 为慢速降解部分（%）；c 为 b 部分降解速率（%/h）。

饲粮营养成分的瘤胃有效降解率按以下公式计算：

$$ED=a+bc/(c+k)。$$

式中：*ED* 为有效降解率（%）；*k* 为某营养成分的瘤胃外流速率，其值取 0.025 3[14]。

DM 含量采用恒温干燥法测定；CP 含量使用 FOSS 全自动凯氏定氮仪，采用凯氏定氮法测定；NDF 和 ADF 含量使用 ANKOM-2000I 全自动纤维分析仪测定；粗灰分含量采用灼烧法测定。

1.4 数据处理与分析方法

利用 Excel 2007 软件对原始数据进行汇总与整理，所得数据应用 SAS 9.4 软件中的 NLIN 来确定降解常数 *a*、*b*、*c*，再用 SPSS 22.0 软件中 Duncan 氏法进行多重比较，$P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 水稻秸秆和揉丝水稻秸秆的营养成分

由表 2 可知，11 月初水稻秸秆的 DM 含量略高于 9 月末水稻秸秆；9 月末水稻秸秆 CP 含量高于 11 月初水稻秸秆；2 个收获期水稻秸秆的 NDF 与 ADF 含量偏高，不满足单独饲喂的要求；11 月初水稻秸秆粗灰分含量高于 9 月末的水稻秸秆。揉丝处理均降低了水稻秸秆中粗灰分含量，提高 CP 含量，对 NDF 与 ADF 含量的影响不明显。

表 2 水稻秸秆和揉丝水稻秸秆的营养成分（干物质基础）

Table 2 Nutrient composition of rice straw and kneaded rice straw（DM basis） %

项目 Items	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
干物质 DM	92.70	92.97	93.20	94.11
粗蛋白质 CP	9.72	9.91	5.31	7.31
中性洗涤纤 NDF	70.31	70.42	68.77	67.30
酸性洗涤纤 ADF	41.51	40.62	39.99	39.99
粗灰分 Ash	13.10	10.83	17.02	15.70

2.2 水稻秸秆和揉丝水稻秸秆 DM 瘤胃降解特性

由表 3 可知，9 月末水稻秸秆的 DM 降解率与 9 月末揉丝水稻秸秆相比，在前 24 h 前者显著高于后者（$P<0.05$），但到 72 h 两者差异不显著（$P>0.05$）；11 月初水稻秸秆的 DM 降解率与 11 月初揉丝水稻秸秆相比，除第 2、48 h 两者无显著差异（$P>0.05$），后者总体显著高于前者（$P<0.05$）。2 个收获期水稻秸秆前期 DM 降解率虽有波动，但在 2、24、36、72 h 差异不显著（$P>0.05$）；2 个收获期揉丝水稻秸秆 DM 降解率差异变化明显，11 月初揉丝水稻秸秆在各时间点 DM 降解率显著高于 9 月末揉丝水稻秸秆（$P<0.05$）。

表 3　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆在瘤胃中不同时间点的 DM 降解率

Table 3　DM degradation rate of rice straw and kneaded rice straw in rumen at different time points　%

时间 Time/h	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
2	15.85±0.18^{b}	12.82±0.13^{c}	16.56±0.51^{ab}	17.01±0.17^{a}
6	18.97±0.32^{a}	14.19±0.09^{c}	17.03±0.32^{b}	18.37±0.14^{a}
12	20.39±0.34^{b}	17.46±0.43^{c}	18.51±0.30^{c}	22.67±0.53^{a}
24	24.00±0.19^{b}	22.50±0.22^{c}	23.22±0.31^{bc}	24.94±0.44^{a}
36	26.34±0.65^{b}	25.51±1.14^{b}	26.85±0.71^{b}	29.84±0.22^{a}
48	30.57±0.43^{c}	31.88±0.06^{b}	33.38±0.61^{a}	33.14±0.15^{a}
72	35.67±0.08^{b}	33.89±1.38^{bc}	36.77±0.20^{b}	39.84±1.24^{a}

同行数据肩标不同字母表示差异显著（P<0.05）,相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

Values in the same row with different letter superscripts mean significant difference（P<0.05）, while with the same or no letter superscripts mean no significant difference（P>0.05）. The same as below.

由表 4 可知，11 月初揉丝水稻秸秆的 *a* 值最高，显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）；9 月末水稻秸秆 *a* 值虽高于 9 月末揉丝水稻秸秆，但差异不显著（P>0.05）。各组 *b* 值差异较大，*c* 值各组差异不显著（P>0.05）。2 个收获期揉丝水稻秸秆 DM 的 ED 均高于未经揉丝处理的水稻秸秆，其中 11 月初揉丝水稻秸秆的 ED 显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05），9 月末揉丝水稻秸秆的 ED 虽高于 9 月末稻秸，但差异并不显著（P>0.05）。

表 4　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆 DM 动态降解模型参数

Table 4　Parameters of DM dynamic degradation model of rice straw and kneaded rice straw

项目 Items	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
a/%	16.04±0.41^{a}	14.78±0.64^{a}	11.17±0.77^{b}	16.33±0.42^{a}
b/%	46.26±1.31^{b}	54.77±2.20^{a}	31.39±3.83^{c}	45.53±2.34^{b}
c/（%/h）	0.008±0.003	0.007±0.003	0.019±0.005	0.010±0.003
ED/%	26.77±1.37^{b}	27.22±1.50^{b}	24.63±1.49^{c}	28.89±1.26^{a}

a 为快速降解部分；*b* 为慢速降解部分；*c* 为 *b* 部分的降解速率；ED 为有效降解率。表 6、8、10 同。

a was rapidly degraded fraction; *b* was slowly degraded fraction; *c* was the degradation rate of *b*; ED was effective degradability. The same as Table 6, Table 8 and Table 10.

2.3　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆 CP 瘤胃降解特性

由表 5 可知，4 组水稻秸秆的 CP 降解率在前 12 h 差异一致，2 个收获期揉丝水稻秸秆

CP 降解率均显著高于水稻秸秆（P<0.05）；但 9 月末揉丝水稻秸秆 CP 降解率在 72 h 时与 9 月末稻秸相比差异不显著（P>0.05），而 11 月初揉丝水稻秸秆 CP 降解率始终显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）。9 月末水稻秸秆的 CP 降解率显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05），而揉丝处理能提高 CP 降解率，11 月初揉丝水稻秸秆 CP 降解率变化明显，在 72 h 达到 57.91%，显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）.

表 5　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆在瘤胃中不同时间点的 CP 降解率

Table 5　CP degradation rate of rice straw and kneaded rice straw in rumen at different time points %

时间 Time/h	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
2	20.17±0.13^{c}	24.02±0.10^{b}	17.62±0.51^{d}	28.03±0.13^{a}
6	28.41±0.24^{c}	32.14±0.07^{b}	21.53±0.32^{d}	36.37±0.06^{a}
12	35.09±0.26^{c}	38.05±0.32^{b}	26.87±0.03^{d}	42.37±0.39^{a}
24	41.75±0.14^{b}	41.80±0.16^{b}	27.53±0.31^{c}	46.52±0.31^{a}
36	44.53±0.51^{b}	45.96±0.83^{b}	31.63±0.71^{c}	48.36±0.17^{a}
48	47.62±0.32^{b}	50.32±0.04^{a}	35.70±0.61^{c}	50.90±0.11^{a}
72	53.72±0.06^{b}	54.30±0.95^{b}	40.00±0.20^{c}	57.91±0.94^{a}

由表 6 可知，2 个收获期的揉丝水稻秸秆 CP 的 a 值均显著高于水稻秸秆（P<0.05）。b 值表现相反，水稻秸秆高于揉丝水稻秸秆，并且 11 月初水稻秸秆显著高于 11 月初揉丝水稻秸秆（P<0.05）。11 月初水稻秸秆 c 值显著低于其他各处理水稻秸秆（P<0.05）。2 个收获期的揉丝水稻秸秆 ED 高于水稻秸秆，其中 11 月初揉丝水稻秸秆显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）。

表 6　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆 CP 动态降解模型参数

Table 6　Parameters of CP dynamic degradation model of rice straw and kneaded rice straw

项目 Items	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
a/%	18.91±1.12^{c}	23.80±1.16^{b}	18.97±1.13^{c}	28.09±1.50^{a}
b/%	34.07±1.27^{b}	31.24±1.54^{bc}	45.69±2.96^{a}	28.46±1.80^{c}
c/（%/h）	0.046±0.006^{a}	0.040±0.006^{a}	0.008±0.007^{b}	0.044±0.009^{a}
ED/%	40.96±1.23^{b}	42.90±1.44^{b}	30.45±1.58^{c}	46.12±1.17^{a}

2.4　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆 NDF 瘤胃降解特性

由表 7 可知，9 月末水稻秸秆 NDF 降解率与 9 月末揉丝水稻秸秆相比，前者显著高于后者（P<0.05），但在 36、48 h 两者差异不显著（P>0.05）；11 月初揉丝水稻秸秆 NDF 降解率在前 6 h 显著低于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）,前者在 24、48、72 h 显著高于后者（P<0.05）。9 月末水稻秸秆的 NDF 降解率显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05），但在 36、48 h 差异不显著（P>0.05）；11 月初揉丝水稻秸秆 NDF 降解率高于 9 月末揉丝水稻秸秆，并在 24、72 h 显著高于后者（P<0.05）。

表 7　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆在瘤胃中不同时间点的 NDF 降解率

Table 7　NDF degradation rate of rice straw and kneaded rice straw in rumen at different time points %

时间 Time/h	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
2	8.26±0.19^{a}	4.08±0.15^{c}	7.80±0.57^{a}	5.15±0.20^{b}
6	12.30±0.34^{a}	5.89±0.10^{c}	8.52±0.35^{b}	5.81±0.09^{c}
12	13.68±0.37^{a}	9.37±0.47^{b}	10.23±0.03^{b}	9.80±0.62^{b}
24	16.69±0.21^{a}	14.66±0.24^{b}	14.96±0.34^{b}	16.31±0.51^{a}
36	20.63±0.70	19.65±1.24	19.58±0.78	19.59±0.26
48	24.48±0.46^{b}	25.31±0.06^{ab}	24.51±0.69^{b}	26.77±0.17^{a}
72	29.71±0.09^{a}	27.58±1.51^{b}	27.97±0.23^{b}	30.87±1.41^{a}

由表 8 可知，2 个收获期揉丝水稻秸秆的 a 值显著低于水稻秸秆（P<0.05）。揉丝处理对 b 值影响不大，但 9 月末水稻秸秆和揉丝水稻秸秆显著低于 11 月初水稻秸秆和揉丝水稻秸秆（P<0.05）。c 值虽有波动，但各组差异不显著（P>0.05）。各组 ED 普遍较低，9 月末揉丝水稻秸秆显著低于其他各组（P<0.05）。

表 8　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆 NDF 动态降解模型参数

Table 8　Parameters of NDF dynamic degradation model of rice straw and kneaded rice straw

项目 Items	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
a/%	8.49±0.50^{a}	2.14±0.79^{c}	5.99±0.58^{b}	2.90±0.63^{c}
b/%	33.63±5.58^{b}	33.68±3.21^{b}	40.50±6.32^{a}	40.18±4.20^{a}
c/（%/h）	0.013±0.003	0.021±0.004	0.011±0.004	0.017±0.003
ED/%	19.85±2.01^{a}	17.38±1.87^{b}	18.57±2.15^{a}	18.76±1.04^{a}

2.5　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆 ADF 瘤胃降解特性

由表 9 可知，9 月末揉丝水稻秸秆 ADF 降解率与 9 月末水稻秸秆相比，除 6 h 外，均无

显著差异（P>0.05）；11 月初揉丝水稻秸秆 ADF 降解率在各时间点显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）。9 月末水稻秸秆在各时间点 ADF 降解率均显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）。11 月初水稻秸秆揉丝处理的效果好于 9 月末水稻秸秆。

表 9　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆在瘤胃中不同时间点的 ADF 降解率

Table 9　ADF degradation rate of rice straw and kneaded rice straw in rumen at different time points %

时间 Time/h	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
2	5.67±0.20^{a}	5.37±0.15^{a}	2.40±0.14^{b}	5.28±0.21^{a}
6	11.06±0.34^{a}	8.56±0.10^{b}	4.36±0.13^{c}	7.91±0.10^{b}
12	12.11±0.37^{a}	10.78±0.48^{ab}	8.29±0.04^{b}	11.10±0.64^{a}
24	15.92±0.21^{a}	15.40±0.25^{a}	12.82±0.37^{b}	16.68±0.53^{a}
36	20.35±0.70^{a}	20.36±1.25^{a}	17.56±0.82^{b}	22.19±0.27^{a}
48	24.54±0.46^{a}	23.16±0.06^{ab}	21.88±0.74^{b}	25.89±0.17^{a}
72	27.31±0.09^{b}	26.44±1.53^{bc}	24.58±0.24^{c}	29.36±1.40^{a}

由表 10 可知，11 月初水稻秸秆 a 值显著低于 9 月末水稻秸秆（P<0.05）；9 月末揉丝水稻秸秆 a 值显著低于 9 月末水稻秸秆（P<0.05），11 月初揉丝水稻秸秆 a 值显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）。9 月末揉丝水稻秸秆与 9 月末水稻秸秆相比，b 值差异不显著（P>0.05），而 11 月初揉丝水稻秸秆与 11 月初水稻秸秆相比差异显著（P<0.05）。c 值速率波动不大，各组之间差异不显著（P>0.05）。9 月末水稻秸秆 ADF 的 ED 显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05），9 月末揉丝水稻秸秆虽低于 9 月末水稻秸秆，但差异不显著（P>0.05），11 月初揉丝水稻秸秆显著高于 11 月初水稻秸秆（P<0.05）。

表 10　水稻秸秆和揉丝水稻秸秆 ADF 动态降解模型参数

Table 10　Parameters of ADF dynamic degradation model of rice straw and kneaded rice straw

项目 Items	9 月末 Late September		11 月初 Early November	
	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw	水稻秸秆 Rice straw	揉丝水稻秸秆 Kneaded rice straw
a/%	5.80±0.67^{a}	4.35±0.69^{b}	0.82±0.40^{d}	3.16±0.60^{c}
b/%	27.68±2.60^{c}	27.47±2.28^{c}	29.82±1.36^{b}	32.55±1.91^{a}
c/（%/h）	0.022±0.004	0.023±0.004	0.023±0.002	0.024±0.003
ED/%	18.51±1.03^{a}	17.49±0.97^{a}	15.02±0.66^{b}	18.87±0.84^{a}

3　讨　论

3.1　不同收获期水稻秸秆和揉丝水稻秸秆的营养评价

随着采样时间的推移，2 种水稻秸秆的营养成分存在一定的差异，主要表现在 CP 与粗灰分的含量变化，9 月末水稻秸秆 CP 含量能达到 9.72%，而 11 月初仅有 5.31%，这可能与 2 个收获时期收获目的不同有关。9 月末为当地收获水稻种子的时段，11 月初为收获稻米的时间段，因此随着稻米的成熟与饱满，水稻秸秆中营养成分向稻穗中运输与积累，造成这样的差异。然而华金玲等[15]、汪营等[16]测定的水稻秸秆 CP 含量仅有 3%~5%，这可能与水稻秸秆的收获方式有关，前人研究多用露天晒干水稻秸秆，而本文所用现场鲜绿水稻秸秆，再经杀青处理烘干，避免了营养物质的流失，同时还可能与测定 CP 的方式有关，传统方式采用经典凯氏蒸馏装置，人为滴定差异以及消煮时间会影响 CP 含量，本试验采用福斯公司全自动定氮仪，降低人为因素造成的影响。粗灰分含量呈现相反的结果，可能有以下原因：一方面粗灰分主要都是矿物质元素，而更长时间的积累可能导致这样的差异；另一方面营养物质向顶端运输，使矿物质含量相对提高。水稻是富硅植物，在水稻秸秆灰分中通常含有 10%~20%的硅[17]，这导致了水稻秸秆的粗灰分含量普遍高于其他农作物，本试验 2 个收获期粗灰分的测定值分别达到 13.10%和 17.02%，与前人报道结果相符。值得关注的是，水稻秸秆中过高的硅含量是否会对奶牛的生产性能造成影响的内容未见报道，有待后续研究。通过揉丝收割机的处理，降低了水稻秸秆的粗灰分含量，因此从一定程度上能够提高水稻秸秆的采食量和适口性。前人对水稻秸秆揉丝处理的研究未见报道，但王青青[18]在对玉米秸秆的揉丝处理中提出揉丝能提高奶牛的适口性和采食量，并且研究了玉米秸秆揉丝微贮的影响，为水稻秸秆揉丝的后处理提供了新的可能。值得关注的是揉丝处理提高了水稻秸秆的 CP 含量，原因有待进一步研究。NDF 是目前反映饲料中纤维质量好坏的最有效指标，同时还是反映反刍动物精粗比的重要指标，ADF 则能反映粗饲料的消化利用率。本试验测定揉丝处理后的水稻秸秆 NDF 与 ADF 含量与未经处理水稻秸秆相比变化不明显，可见仅用揉丝机械处理的效果在表观上并不突出。

3.2 不同收获期水稻秸秆和揉丝水稻秸秆的瘤胃降解规律

本研究采用的尼龙袋法属于半体内法，是目前被广泛使用的测定饲料中营养成分降解规律的方式。DM 作为比较饲料营养价值的基础，决定了反刍动物各种饲料的干物质采食量（DMI），也决定了其余营养成分的水平。因为随着 DMI 的升高，会提高反刍动物营养物质的摄入量，并提高产奶量[19]。本次试验可以看出不同收获期水稻秸秆 DM 降解率随投入时间的延长表现出不同程度的增加，DM 的 ED 在 25%左右，这与李洋等[20]测定结果类似，并且还发现在各种秸秆类饲料中稻草的 ED 最低。本试验发现，通过简单的揉丝处理即可提高 ED，这可能与揉丝破坏秸秆纤维结构有关，再经奶牛采食时增加了瘤胃微生物的作用效果。

a 值与常规粗饲料相比较低，*b* 值与常规粗饲料相比较高，*b* 值降解速率明显低于常规粗饲料[21]。由此可见，水稻秸秆若想成为常规粗饲料的替代饲料，需经过物理或化学处理，从而在适口性、纤维长度、营养结构上弥补水稻秸秆的不足，试验中揉丝对水稻秸秆的 *a*、*b* 值以及 ED 均有一定的影响，尤其是对 11 月初已收获稻米为目的水稻秸秆，可显著提高 DM 的 ED，提高了 4.26%。

饲料蛋白质的降解率主要取决于其在瘤胃内的发酵滞留时间以及发酵难易程度[22]。2 个收获期水稻秸秆在瘤胃培养 72 h 后，生长时间更久的 11 月初水稻秸秆的 CP 降解率显著低于 9 月末水稻秸秆，这与 2 个收获期水稻秸秆 CP 含量差异相一致，刘凯玉[23]在其研究中也测定了干水稻秸秆在 72 h 的降解率（50%左右），与本文测定结果相似。揉丝处理对水稻秸秆的影响也表现在 CP 降解率，一方面加快了在各时间点 CP 的降解率，另一方面增加至 72 h 的 CP 降解率，并能达到 57.91%。本文测定 CP 的 *a* 值随揉丝处理后显著增加，*b* 值经揉丝处理后减少，数值上与李洋等[20]研究中的稻草 *a* 值存在较大差异，其研究中仅有 8.67%，与刘凯玉[23]对干水稻秸秆的研究中 *a* 值相比提高了 6%，而本文 *a* 值达到了 18.91%，*b* 值差异不大，可见 CP 降解参数差异很大。比较不同作物秸秆，玉米秸秆 *a* 值达到 21.37%[21]，油菜秸秆 *a* 值仅有 9.86%[8]，但未见文章报道揉丝水稻秸秆的降解参数。本文测定的水稻秸秆 ED 在揉丝处理后增加，无论青贮还是氨化，目的均为提高营养成分的 ED，从而使奶牛从秸秆类饲料中获得更多的营养成分。前人试验中测定的水稻秸秆一般为水稻粮食收获之后，本文测定的此期间 ED 为 30.45%，与李洋等[19]测定的结果 29.59%一致,同时本文还发现 9 月末以收获种子为目的水稻收获后秸秆的 ED 较高，能达到 40.96%，而此时揉丝处理对水稻秸秆的效果并不明显，原因有待进一步探究。

本研究测定水稻秸秆 NDF 在 72 h 降解情况，与前人对奶牛常用粗饲料 NDF 降解情况相比是明显偏低的，如玉米叶、黄贮秸秆等能够超过 60%，而稻草不足 30%[19]，与本文研究结果相一致。这可能是因为水稻秸秆在未经化学处理时，纤维物质较高，木质化程度高，瘤胃微生物难以降解这部分成分。比较 NDF 的 *a* 值均不高，但比较前人研究结果，常用粗饲料 NDF 的 *a* 值也不高，苜蓿仅有 10%左右，羊草仅有 1.19%[21]，玉米青贮 7%左右[24]。揉丝处理能够降低 *a* 值，原因有待进一步研究。而前人研究 NDF 的 *b* 值普遍较高，决定 ED 的大小。揉丝处理对 *b* 值的影响不大，*b* 值普遍低于其余粗饲料，在 30%~40%，与华金玲等[15]的研究结果类似。本研究测得 NDF 的 ED 较低，仅 17.38%~19.85%，而李洋等[20]测定值达到了 33%，华金玲等[15]测定结果为 28.52%，这可能与水稻品种以及收获方式不同有关。ADF 主要是由纤维素与木质素组成，因此出现差异的原因是两者的组成和比例不同。本试

验测定 72 h 稻秸 ADF 降解率不足 30%，ED 小于 20%，李洋等[20]研究中测定结果与本试验结果较一致。总结来看，揉丝处理对水稻秸秆 NDF 与 ADF 的 ED 影响不大，而根据前人的各种研究结果来看，影响各参数的因素有试验动物的种类与体况、饲粮的营养水平、投袋试验样品的性质以及获取方法与处理方法等，对于这些影响因素有待进一步整合探究。

4 结 论

①9 月末水稻秸秆相比 11 月初水稻秸秆更适合作为粗饲料饲喂动物。

②揉丝处理 11 月初水稻秸秆可以提高其营养价值和瘤胃降解率。

参考文献：

[1] 赵凌,赵春芳,周丽慧,等.中国水稻生产现状与发展趋势[J].江苏农业科学,2015,43(10):105–107.

[2] 王亚静,毕于运,高春雨.中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J].中国农业科学,2010,43(9):1852–1859.

[3] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等.中国农作物秸秆资源及其利用现状[J].农业工程学报,2002,18(3):87–91.

[4] 李彬,高翔,刘玉涛,等.江苏水稻秸秆资源饲料化利用技术研究[J].中国农机化学报,2017,38(5):100–104,134.

[5] 刘蕴青.江苏省农作物秸秆规模化综合利用及技术调查[J].科技信息,2011(26):162.

[6] 郭旭生,崔慰贤.提高秸秆饲料利用率和营养价值的研究进展[J].宁夏农学院学报,2002,23(3):56–60.

[7] 梁欢,瞿明仁.稻秸青贮加工及其在动物应用中的研究进展[J].草业与畜牧,2016(5):1–7.

[8] 孟春花,乔永浩,钱勇,等.氨化对油菜秸秆营养成分及山羊瘤胃降解特性的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1796–1803.

[9] 王佳堃.稻草预处理后超微结构及其理化特性变化规律研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2006:31–35.

[10] LI B,CHEN K J,GAO X,et al.Influence of steam explosion on rice straw fiber content[J].Journal of Biobased Materials and Bioenergy,2015,9(6):596–608.

[11] LI B,CHEN K J,GAO X,et al.The use of steam explosion to increase the nutrition available from rice straw[J].Biotechnology and Applied Biochemistry,2015,62(6):823–832.

[12] 王加启.反刍动物营养学研究方法[M].北京:现代教育出版社,2011:133-136.

[13] ØRSKOV E R,MCDONALD I.The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage[J].The Journal of Agricultural Science,1979,92(2):499–503.

[14] 赵连生,牛俊丽,徐元君,等.6 种饲料原料瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白质的小肠消化率[J].动物营养学报,2017,29(6):2038–2046.

[15] 华金玲,王立克,戴四发,等.不同处理方法对水稻秸瘤胃降解率的影响[J].安徽农学通报,2013,19(13):28–31.

[16] 汪营,张义鹏,刘天义,等.体外发酵技术研究秸秆粗饲料营养价值及降解特性[J].畜牧与兽医,2016,48(12):24-29.

[17] 郑爱珍,任雪平.硅在水稻生理中的作用[J].农业与技术,2004,24(1):50–52.

[18] 王青青.玉米秸秆揉丝微贮饲料的制作及饲用效果研究[D].硕士学位论文.洛阳:河南科技大学,2013:7–16.

[19] 李春雷.奶牛常用粗饲料营养价值评定[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2014:19–30.

[20] 李洋,辛杭书,李春雷,等.奶牛常用秸秆类饲料营养价值的评定[J].东北农业大学学报,2015,46(4):76–82.

[21] 贾海军.奶牛常用饲草瘤胃降解规律研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2010:13–29.

[22] 刁其玉,屠焰.奶牛常用饲料蛋白质在瘤胃的降解参数[J].乳业科学与技术,2005,27(2):70–74.

[23] 刘凯玉.不同方法处理稻秸对瘤胃降解及其体外甲烷产生量的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2014:19–20.

[24] 苗树君,曲永利,杨柳,等.不同收获期玉米青贮营养成分在奶牛瘤胃内降解率的研究[J].动物营养学报,2007,19(2):172–176.

Ruminal Degradation Characteristics of Kneaded Rice Straw at Different Harvest Periods in Dairy Cows

MA Qianbo WANG Lin LI Zhiwei HUANG Qianqian ZHAO Guoqi*

(*College of Animal Science and Technology*, *Yangzhou University*, *Yangzhou 225000*, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of knead wire treatment on the nutrient composition and degradation characteristics in rumen of rice straw at different harvest periods in dairy cows. The samples were harvested in late September and early November. These materials had the same pretreatment. Four sets of samples were rice straw in late September, kneaded rice straw in late September, rice straw in early November and kneaded rice straw in early November, respectively. Then, the contents of nutrients in the samples were determined, and the dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) degradability of samples were determine by nylon-bag technique, dynamic degradation parameters of nutrients were obtained. The results showed as follows: the CP and ash contents of rice straw in late September were higher than those of rice straw in early November. The degradability of CP, NDF and ADF of rice straw in late September were significantly higher than that of rice straw in early November after digestion in rumen ($P<0.05$). The effective degradation rate (ED) of DM, CP and ADF of rice straw in late September was not affected significantly by kneading ($P>0.05$). However, it can significantly improve the ED of DM, CP and ADF of rice straw in early November ($P<0.05$). In conclusion, the rice straw in late September is more suitable for feeding animal as a coarse fodder than that in early November. Treatment of rice straw harvested in early November by kneading can improve its nutritional value and rumen degradation rate.

Key words: rice straw; knead wire; rumen degradation; dairy cows

---

* Corresponding author, professor, E-mail: gqzhao@yzu.edu.cn (责任编辑 陈 鑫)